УДК 629.3.012 https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-3-33-38

Оценка параметров безопасности автогрейдера при маневрировании в улично-дорожной сети

В. В. Дерюшев, Е. Е. Косенко, В. В. Косенко
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. Статья посвящена вопросам повышения безопасности при эксплуатации автогрейдеров в городских условиях. Рассмотрены аналитические методы оценки влияния конструктивных, геометрических и кинематических характеристик автогрейдера на безопасность маневрирования в городских условиях при разворотах и поворотах на перекрестках улично-дорожной сети.
Постановка задачи. В ходе исследования необходимоустановить безопасные значения кинематических и геометрических параметров маневрирования автогрейдеров с шарнирно сочлененной рамой в городских условиях.
Теоретическая часть. Числовые оценки проводились по техническим характеристикам трех типов автогрейдеров с шарнирно сочлененной рамой. Рассмотрены возможные варианты выезда (выноса габаритов) автогрейдера за границы улиц или проезжей части при выполнении правого или левого поворота на перекрестке дорог, чтобы избежать ситуации выезда (выноса габаритов) автогрейдера за границы улиц или проезжей части. Построена расчетная схема для определения параметров поворачиваемости автогрейдера.
Получены расчетные формулы для наружного и внутреннего габаритных радиусов поворота автогрейдера и габаритного коридора движения. Это позволяет определить минимальное значение ширины проезжей части для безопасного маневрирования автогрейдера. Определено значение требуемого безопасного минимального радиуса поворота автогрейдера при заданной ширине проезжей части. Все расчетные формулы получены для общего случая, когда траектории задних и передних колес не совпадают. Показано, что при повороте автогрейдера наиболее опасным является вынос передних габаритов, определяемых крайними точками переднего бульдозерного отвала. Вынос задних габаритов в данном случае можно не учитывать, т. к. он практически отсутствует. При развороте на перекрестке возможен вынос грейдерного отвала за проезжую часть. Максимальная величина выноса определяется размерами отвала, которые выходят за пределы ширины автогрейдера.
Выводы. Полученные решения могут использоваться для определения безопасных режимов маневрирования автогрейдеров в городских условиях.

Ключевые слова: автогрейдер, маневренность, радиус поворота, поворачиваемость.

Для цитирования: Дерюшев, В. В. Оценка параметров безопасности автогрейдера при маневрировании в улично-дорожной сети / В. В. Дерюшев, Е. Е. Косенко, В. В. Косенко // Безопасность техногенных и природных систем. — 2020. — № 3.— С. 33–38. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-3-33-38

Evaluation of safety parameters of the motor grader during maneuvering in the street and road network

V. V. Deryushev, E. E. Kosenko, V. V. Kosenko
Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. The article is devoted to improving the safety of operation of motor graders in urban conditions. The paper considers analytical methods for evaluating the influence of structural, geometric and kinematic characteristics of the motor grader on the safety of maneuvering in urban conditions for u-turns and turns at the intersections of the road network.
Problem Statement. In the course of the study, it is necessary to establish safe values of kinematic and geometric parameters for maneuvering of motor graders with articulated frames in urban conditions.
Theoretical Part. The numerical estimates were made based on the technical characteristics of three types of articulated frame graders. We consider possible options for moving the grader out of the street or roadway when making a "right" or "left" turn at a road intersection to avoid the situation of moving the grader out of the street or roadway. The calculation scheme for determining the parameters of the motor grader's turn is constructed.
The calculation formulas for the external and internal overall turning radii of the grader and the overall traffic corridor are obtained. This allows you to determine the minimum width of the roadway for safe maneuvering of the motor

grader. The value of the required safe minimum turning radius of the motor grader for a given width of the roadway is determined. All calculation formulas are obtained for the general case when the trajectories of the rear and front wheels do not coincide. It is shown that when turning the motor grader, the most dangerous is the radius of the front dimensions, determined by the extreme points of the front bulldozer blade. The radius of the rear dimensions in this case can be ignored, because it is of negligible importance. If you make a u-turn at an intersection, you can take the grader blade out of the roadway. The maximum radius is determined by the size of the blade that goes beyond the width of the grader.

Conclusion. The obtained solutions can be used to determine safe maneuvering modes for motor graders in urban conditions.

Keywords: motor grader, maneuverability, radius of turn, rotatability.

For citation: Deryushev V. V., Kosenko E. E., Kosenko V. V. Evaluation of safety parameters of the motor grader during maneuvering in the street and road network: Safety of Technogenic and Natural Systems. 2020;3: 33‒38. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-3-33-38

Введение. При эксплуатации строительной и коммунальной техники в городских условиях ключевым фактором обеспечения безопасности является осуществление маневрирования на перекрестках с различной шириной улиц, в проездах заданной формы и размеров, а также на ограниченных площадях опорной поверхности. Безопасность дорожного движения в этих условиях определяется маневренными свойствами колесных машин, одними из которых являются автогрейдеры. Исследованию вопросов маневренности автогрейдера посвящена работа [1], вопросы надежности эксплуатации техники освещены в работах [2–4]. Определению маневренных свойств колесных машин посвящено немало исследований, и основные результаты закреплены в нормативной технической документации. Однако приводимые там расчетные формулы получены, как правило, для случаев выполнения маневрирования на неограниченных площадях опорной поверхности и при соблюдении условия, когда колеса задней и передней оси двигаются по одной траектории. В общем случае эти условия не выполняются.

Постановка задачи. Основная цель данных исследований — установить безопасные значения кинематических и геометрических параметров маневрирования автогрейдеров с шарнирно сочлененной рамой в городских условиях. Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих двух задач:

1. Установить все возможные варианты выхода за границы проезжей части автогрейдера, связанные с его расположением на проезжей части, при выполнении разворота, правого поворота на перекрестке дорог (с двусторонним или односторонним движением), выезда (выноса передних левых габаритов) на встречную полосу, наезда (выноса правых габаритов) на тротуар, а также выноса задних левых габаритов на соседнюю полосу движения.

2. Определить, какой радиус поворота должен иметь автогрейдер с заданной длиной и шириной при выполнении правого поворота на перекрестке дорог с заданной шириной улиц (с двусторонним или односторонним движением), чтобы избежать вышеуказанных ситуаций выезда (выноса габаритов) автогрейдера за границы занимаемой полосы движения и проезжей части.

Материалы и методы. Для решения поставленных задач построена расчетная схема для определения параметров поворачиваемости автогрейдера с шарнирно сочлененной рамой (рис. 1).

На схеме точка О — центр поворота (ГОСТ 27257-87 или ИСО 7457-83), точка, вокруг которой выполняется поворот постоянного радиуса. Центр поворота определяется как точка, образуемая пересечением линии 0–2 (перпендикуляр к продольной оси автогрейдера, проходящий через середину задней тележки с ведущими осями) и линии 0–3 (перпендикуляр к плоскости вращения наиболее удаленного управляемого колеса).

R_{min} — минимальный радиус поворота (половина минимального диаметра поворота по ГОСТ 27257-87), он определяется как расстояние от центра поворота до центра контакта шины с опорной поверхностью при выполнении машиной возможно более крутого поворота (т. е. при максимальном угле поворота управляемых колес Y и шарнирно сочлененной рамы Z на рис. 1). Теоретически R_{min} определяется по следующей формуле:

$$R_{min} \approx \frac{(1-2)+(1-4)\cdot cosZ}{\sin(Z+Y)}. \quad (1)$$

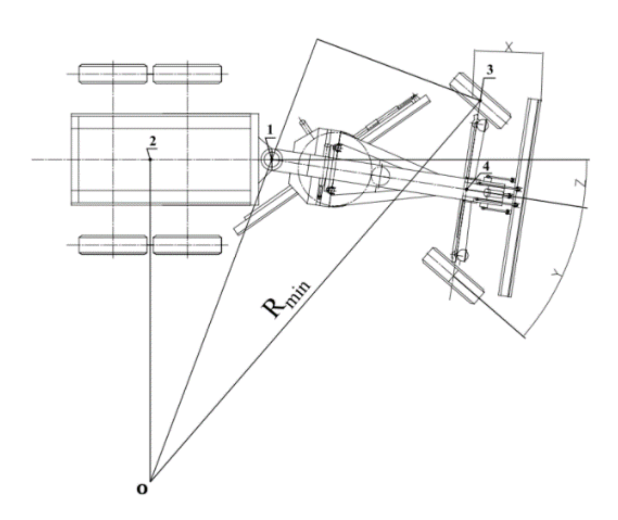


Рис. 1. Расчетная схема поворачиваемости автогрейдера

Теоретическая часть. Пример расчета параметров поворачиваемости. Пусть шарнир делит базу автогрейдера в пропорции 1/3. Тогда для автогрейдера (I) получаем:

отрезок 1–2 = 2000 мм,

отрезок 1–4 = 4000 мм,

угол Z_{max}= 22°,

угол Y_{max}= 40°.

$$R_{min} = \frac{2000+4005\cdot cos22°}{\sin(40°+22°)} = \frac{2000+4005\cdot 0{,}927}{0{,}883} = \frac{5708}{0{,}883} = 6470 \text{ мм.} \quad (2)$$

При отсутствии поворота шарнирно сочлененной рамы (угол Z = 0)

$$R_{min} = \frac{6005}{\sin 40°} = \frac{6005}{0{,}643} = 9339 \text{ мм.} \quad (3)$$

Для определения радиуса поворота, который должен иметь автогрейдер при выполнении правого или левого поворота на перекрестке дорог с заданной шириной улиц (или проезжей части), чтобы избежать ситуации выезда (выноса габаритов) автогрейдера за границы улиц или проезжей части, необходимо определить габаритный коридор движения. В данном случае габаритный коридор движения $H_г$ определяется как разница между наружным габаритным радиусом поворота и внутренним габаритным радиусом поворота [5–9].

Результаты исследования. Определение различных радиусов поворота. Определим габаритный радиус поворота (наружный). Это расстояние от центра поворота до крайней внешней точки проекции машины и ее рабочего оборудования при выполнении поворота с минимальным радиусом (по ГОСТ 27257-87). Обозначим этот радиус $R_{гн}$. В рассматриваемых условиях он определяется при правом повороте автогрейдера левой крайней точкой переднего бульдозерного отвала, расположенного на расстоянии X от передней оси. .

Тогда:

$$R_{гн}=R_{min}+X\cdot\sin Z. \quad (4)$$

В данном случае для автогрейдера (I):

$$R_{гн}=6470+1240\cdot\sin 22°= 6470+1240\cdot 0{,}375 = 6935 \text{ мм.} \quad (5)$$

Определим внутренний радиус поворота по шинам (по ГОСТ 27257-87) или внутренний габаритный радиус, который обозначим $R_{гв}$.

Он определяется по формуле

$$R_{гв} = R_{min}\cdot\cos (Z+Y) + (1\text{-}4)\cdot\sin Z – B. \quad (6)$$

В данном случае для автогрейдера (I):

$$R_{гв} = 6470\cdot\cos (40° + 22°) + 4005\cdot\sin 22° – 2500 = 2043 \text{ мм.} \quad (7)$$

Тогда габаритная полоса движения автогрейдера ($H_г$) при максимальном крутом повороте с минимальным радиусом равна:

$$H_г = R_{гн} – R_{гв} = R_{min} + X\cdot\sin Z – R_{min}\cdot\cos (Z+Y) – (1\text{-}4)\cdot\sin Z+B. \quad (8)$$

Или после преобразований

$$H_г = R_{min}(1 – \cos (Z+Y)) – ((1\text{-}4) –X)\cdot\sin Z + B. \quad (9)$$

Для автогрейдера (I):

$$H_г = 6470 (1 – 0{,}47) – (4005 – 1240)\cdot 0{,}375 + 2500 = 4892 \text{ мм.} \quad (10)$$

При правом или левом повороте габаритная полоса движения должна вписаться в заданную ширину улицы при одностороннем движении или разрешенную полосу движения транспорта при двухстороннем движении, как указано на рис. 2 [10–11].

Тогда минимальная ширина улицы с односторонним движением (ширина проезжей части $S_{пч}$) составляет:

$$S_{пч} = R_{гн} – R_{гв} \cdot\cos 45°. \quad (11)$$

Рис. 2. Внутренний ($R_{гв}$) и наружный ($R_{гн}$) габаритные радиусы автогрейдера

Для автогрейдера (I):

$$S_{пч} = 6935 – 2043 \cdot 0{,}707 = 5491 \text{ мм}. \quad (12)$$

Т. е. при ширине улицы (проезжей части) $S_{пч}$ менее 5820 мм (например, при заданной ширине 3 м, 4 м, 5 м) поворот автогрейдера (I) без выезда или выноса габаритов за пределы разрешенной полосы теоретически невозможен.

Если ширина проезжей части ($S_{пч}$) задана, то требуемый минимальный радиус поворота R_{min} определяется после преобразования следующего выражения:

$$S_{пч} = R_{min} + X \cdot \sin Z – (R_{min} \cdot \cos (Z+Y) + (1\text{-}4) \cdot \sin Z – B) \cdot \cos 45. \quad (13)$$

В итоге получаем:

$$R_{min} = \frac{S_{пч} + ((1-4) \cdot cos45° - X) \cdot sinZ - B \cdot cos45°}{1 - \cos(Z+Y) \cdot cos45°}. \quad (14)$$

Результаты расчетов по трем типам автогрейдеров сведены в таблицы 1–3.

Таблица 1

Минимальный радиус поворота автогрейдеров

	1-4	Z_{max}	Y_{max}	R_{min} (мм)	
				в сложенном состоянии	без складывания
Автогрейдер (I) Grader (I)	4005	22°	40°	6470	9339
Автогрейдер (II) Grader	4240	23°	40°	6623	9705
Автогрейдер (III) Grader	4320	25°	45°	6298	8939

Таблица 2

Габаритные радиусы и минимальная ширина улицы

	$R_{гн}$ (мм)	$R_{гв}$(мм)	$H_г$(мм)	$S_{пч}$(мм)
Автогрейдер (I) Grader (I)	6935	2043	4892	5491
Автогрейдер (II) Grader (II)	7150	2134	5016	5641
Автогрейдер (III) Grader (III)	6868	1447	5421	5845

Таблица 3

Требуемые минимальные радиусы поворота R_{min} (мм)

Ширина улицы	6 м	7 м	8 м	9 м
Автогрейдер (I) Grader (I)	7231	8729	10226	11724
Автогрейдер (II) Grader (II)	7185	8658	10131	11605
Автогрейдер (III) Grader (III)	6507	7827	9147	10466

В проведенных расчетах не рассматривается случай, когда траектория задних и передних колес совпадает. В этом случае параметры поворачиваемости автогрейдера будут хуже.

В результате проведенных расчетов установлено, что минимальными радиусами поворота автогрейдеров являются соответственно 6470, 6623, 6298 мм, при этом наименьшая ширина проезжей части должна составлять 5491, 5641, 5845 мм. Для гарантии проезда автогрейдера R_{min}можно уменьшить на 10%.

Выводы. Проанализировав возможные варианты выхода за границы проезжей части автогрейдера, связанные с его расположением на проезжей части, при выполнении разворота, правого поворота на перекрестке дорог (с двусторонним или односторонним движением), выезд (вынос передних левых габаритов) на встречную полосу, наезд (вынос правых габаритов) и т. д., эксперты отмечают что разворот автогрейдера осуществляется при нахождении всех колес на проезжей части. При этом наиболее вероятным является вынос передних габаритов, определяемых крайними точками переднего бульдозерного отвала. Величина опасного вылета составляет XsinZ (465, 528, 571 мм). Вынос задних габаритов в данном случае можно не учитывать, т. к. он практически отсутствует. При крутом повороте на перекрестке возможен вынос грейдерного отвала за проезжую часть (рис. 2). Максимальная величина выноса определяется размерами отвала, которые выходят за пределы ширины автогрейдера.Таким образом, поставленные в работе задачи решены, и полученные аналитические выражения могут быть использованы при анализе безопасности маневрирования колесных машин в городских условиях.

Библиографический список

1. Портнова, А. А. Обоснование критерия эффективности маневренности автогрейдера с шарнирно сочлененной рамой / А. А. Портнова // Вестник СибАДИ. — 2014.— № 4 (38). — С. 34–38.

2. Исследование эксплуатационной надежности автомобилей при замене параметра сдвига распределения ресурса деталей закона Вейбулла / В. Е. Касьянов [и др.] // Качество и жизнь. — 2018. — № 3. — С. 65–69.

3. Влияние генеральных совокупностей конечного объема на эксплуатационную надежность автомобилей при единичном и серийном производствах / В. Е. Касьянов [и др.] // Качество и жизнь. — 2018. — № 3. — С. 69–73.

4. Преимущества применения генеральной совокупности конечного объема вместо выборки для распределения Вейбулла с тремя параметрами / В. Е. Касьянов [и др.] // Инженерный вестник Дона. — 2018. — № 4. — С. 73–87.

5. Kasyanov V.E., Deryushev V.V., Kosenko E.E., Kosenko V.V., Pshenichnaya A.Yu. Synthesis of methods and principles of ensuring the reliability of one-off and serial production machines // International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018) electronic edition. Сер. "MATEC Web of Conferences" 2018. С. 02106.

6. Kasyanov V., Deryushev V., Shulkin L., Kosenko E., Kotesova A. Endurance tests of single machines production // International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018) electronic edition. Сер. "MATEC Web of Conferences" 2018. С. 02107.

7. Демьянов, Ал. Ан. Методадаптивногосинтезафрикционныхсистем / Ал. Ан. Демьянов, Ал. Ал. Демьянов. — Машиностроение : энциклопедия. Подвижнойсостав дорог. — Т. IV, 23; под. ред. Б. А. Левина. — Москва : Машиностроение, 2008. — С. 72–74.

8. Демьянов, Ал. Ан. Адаптивный синтез фрикционно-механических систем / Ал. Ан. Демьянов, Ал. Ал. Демьянов // Проблемы и перспективы развития транспортного комплекса : труды междунар. науч.-практич. конф. — Ростов-на-Дону, 2009. — С. 44–45.

9. Демьянов, Ал. Ан. Структурный анализ как способ повышения надежности механических систем / Ал. Ан. Демьянов, Ал. Ал. Демьянов // Инновационные технологии в машиностроении и металлургии : Междунар. науч.-практ. конф.. — Ростов-на-Дону, 2011. — С. 304–305.

10. Демьянов, Ал. Ан. Некоторые аспекты повышения экономической эффективности транспортной инфраструктуры / Ал. Ан. Демьянов, Ал. Ал. Демьянов // Проблемы машиноведения. Трибология — машиностроению: материалы междунар. науч.-технич. конф. — Москва, 2012. — С. 212–216.

11. Демьянов, Ал. Ан. Синтез механических систем с подвижным основанием / Ал. Ан. Демьянов, Ал. Ал. Демьянов // Транспорт-2014 : труды международной науч.-практич. конф. Ч. 1. — Ростов-на-Дону, 2014. — С. 299–301.

Сдана в редакцию 15.05.2020
Запланирована в номер 01.07.2020

Об авторах:

Дерюшев Виктор Владимирович, профессор кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ORCID: http://orcid.org/0000-0003-1812-2834, derushevww@yandex.ru

Косенко Евгений Евгеньевич, доцент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0515-9849, a123lok@mail.ru

Косенко Вера Викторовна, доцент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3312-2771 , kosenko_verav@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

В. В. Дерюшев — формирование основной концепции, цели и задачи исследования; Е. Е. Косенко — проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов; В. В. Косенко — анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

Submitted 15.05.2020
Scheduled in the issue 01.07.2020

Authors:

Deryushev, Viktor. V., Professor, Department of Transport Systems Operation and Logistics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344000, RF), Dr. Sci., Professor, ORCID: http://orcid.org/0000-0003-1812-2834, derushevww@yandex.ru

Kosenko, Evgeny. E., Associate professor, Department of Transport Systems Operation and Logistics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344000, RF), Cand. Sci., Associate professor, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0515-9849, a123lok@mail.ru

Kosenko, Vera. V., Associate professor, Department of Transport Systems Operation and Logistics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344000, RF), Cand. Sci., Associate professor, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3312-2771, kosenko_verav@mail.ru

Contribution of the authors:

V. V. Deryushev — main concept formulation, goals and objectives of the research; E. E. Kosenko — calculations, preparation of the text, conclusions; V. V. Kosenko — research results analysis, text refinement, correction of the conclusions.